Никитин А.В.

Как наблюдатель строит причинность из хаоса

Аннотация

В статье представлена операциональная модель конструирования причинности наблюдателем из объективного Потока Случайных изменений (ПС). Наблюдатель анализирует локальный срез потока (ЛСП) с помощью параметров ψ (кластеризация), H (долговременная память) и TE (направленная информация). Способность извлекать причинность (γ) и строить модели ($\chi = 4 \cdot \psi \cdot (1-\psi) \cdot \gamma \cdot TE_{норм}$) определяет режимы восприятия: причинный (ПП, $\chi > 0{,}7$), неопределённый (ПК, $0{,}3 < \chi < 0{,}7$) и случайный (ПС, $\chi < 0{,}3$). Зона эффективного самоуправления и эволюции достигается при $\psi \approx 0{,}5$ (где потенциал среды максимален) и высоких значениях γ и TE, что обеспечивает формирование устойчивой, но гибкой модели ($\chi > 0{,}5$). Показано, что прогнозирование является телеологической целью причинности и выражается математически как максимизация передаточной энтропии. Развита теория динамических стратегий существования (подчинение, противостояние, взаимодействие) и показано, что целевой отбор возникает как прямое следствие способности к самоуправлению. Работа содержит строгие критерии фальсифицируемости и принцип двусторонней незавершимости каскада уровней иерархии.

Ключевые слова: Поток случайных изменений, наблюдатель, причинность, локальный срез потока (ЛСП), показатель Херста H, передаточная энтропия TE, параметр ψ, коэффициент γ, параметр χ, прогнозирование, целевой отбор, комбинированный поток (ПК), микроинформация, макроинформация, автокибернетика, фальсифицируемость.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ: ДВА УРОВНЯ ОПИСАНИЯ РЕАЛЬНОСТИ 3

ГЛАВА 1. ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ: ПОТОК СЛУЧАЙНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ЕГО ЛОКАЛЬНЫЕ СРЕЗЫ 4

1.1. Поток Случайных изменений (ПС) как онтологическая реальность 4
1.2. Локальный срез потока (ЛСП) — часть ПС, доступная наблюдателю 5
1.3. Анализ ЛСП: немарковость и взаимозависимости 6
1.4. Сущность объективной причинной связности: немарковские процессы с памятью 7
1.5. Недостижимость полюсов ψ = 0 и ψ = 1 8

ГЛАВА 2. КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ: НАБЛЮДАТЕЛЬ СТРОИТ МОДЕЛЬ РЕАЛЬНОСТИ 8

2.1. Как наблюдатель выявляет логические связи в ЛСП 8
2.2. Поток Изменений (ПИ) и коэффициент γ 9
2.3. Параметр χ: реляционная мера реализованной причинной модели 9
2.4. От χ к режимам восприятия: рождение ПП, ПК и ПС 10

2.5. От логической связи к причинности: роль цели 11
2.6. Синтез уровней: от объективной связности к конструируемой причинности (ПП) 12
2.7. Связь параметров ЛСП, г и х. Реальная зона самоуправления 12

ГЛАВА 3. ПЕРЕХОДЫ МЕЖДУ РЕЖИМАМИ ВОСПРИЯТИЯ 13

3.1. Переход ПС → ПП (обучение наблюдателя) 13
3.2. Переход ПП → ПС (кризис модели наблюдателя) 13
3.3. Комбинированный поток (ПК) как зона переходов и действие «на ощупь» 14
3.4. Сводка переходов 14

ГЛАВА 4. ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР, ЭВОЛЮЦИЯ И САМОУПРАВЛЕНИЕ 15

4.1. Пассивный естественный отбор как общий принцип эволюции 15
4.2. Целевой отбор — механизм возникновения субъектности и прогнозирования 16
4.3. Три стратегии существования наблюдателя 17
4.4. Динамика переходов между стратегиями 18
4.5. Роль зоны неопределённости (ПК) в эволюции 19
4.6. Резюме главы 4 19

ГЛАВА 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ 19

Место работы в контексте современных исследований 20
Фальсифицируемость концепции трёх потоков 21
Принцип незавершимости каскада уровней иерархии 22
Границы применимости модели 23

БИБЛИОГРАФИЯ 23

«Окружающая среда в том виде, как мы её воспринимаем, — это наше изобретение.»
Хейнц фон Фёрстер [von Foerster, 1985]

«Дочь: — Папа, не хочешь ли ты этим сказать, что сэр Исаак Ньютон допускал, что любые гипотезы просто изобретаются, выдумываются, как рассказы?
Отец: — Именно так!
Д: Но разве он не открыл гравитацию при помощи яблока?
О: Нет, моя дорогая, он её изобрёл.
Д: Ах...»
Г. Бэйтсон «Металогия» [Bateson 1972]
Хейнц фон Фёрстер [von Foerster, 1996]

«Когнитивные процессы создают описания окружающей среды, т.е. информацию о ней. Сама окружающая среда не содержит никакой информации. Мир есть, каков он есть.»
Хейнц фон Фёрстер [von Foerster, 1985]
https://infopedia.su/8x767b.html

Введение: два уровня описания реальности

Прежде чем перейти к основному содержанию, необходимо разграничить два уровня описания, которые мы будем использовать.

Онтологический уровень — это базовый уровень бытия, описывающий то, что существует в материи самой по себе, независимо от какого-либо наблюдателя. К этому уровню относятся понятия, введённые в предшествующих работах автора «Парадигма потока случайностей» [Никитин, 2026a; 2026b; 2026c]:

- **Поток случайных изменений (ПС)** — единственная объективная реальность;
- автоматы (атомы, кристаллы, звёзды, галактики) — структуры, охваченные обратными связями;
- сегрегация и самосегрегация — механизмы фильтрации и упорядочивания;
- антихаос, самоорганизованная целостность (СОЦ), самоорганизованная критичность (СОК);
- старение и естественный отбор как статистический процесс.

Кибернетический уровень — это надстройка над онтологическим уровнем. Он описывает процессы восприятия, управления, коммуникации и целеполагания, которые возникают, когда в материи появляются наблюдатели — живые субъекты, автоматы с памятью, логикой и целью.

Задача настоящей работы — показать, как из объективного, постоянно действующего потока случайностей (ПС) рождается субъективное восприятие причинности (ПП) и неопределённости (ПК), как наблюдатель учится, переживает кризисы и строит модели, и как из всего этого вырастает способность к самоуправлению.

Философские корни: от созерцания к выбору

Тысячелетиями философия задавалась вопросом: откуда берётся причинность? Есть ли она в самом мире или только в нашем способе воспринимать мир? Дэвид Юм заметил: мы никогда не «видим» причинность. Мы видим лишь последовательность событий. Причинность — это психологическая привычка ожидать, что за А снова последует Б [Юм, 1748]. Иммануил Кант пошёл дальше: причинность — это априорная форма рассудка, которую субъект привносит в хаос ощущений [Кант, 1781]. Артур Шопенгауэр утверждал, что каузальность не принадлежит «вещи в себе», она — форма, в которой интеллект представляет себе реальность [Шопенгауэр, 1819]. Фридрих Ницше заявил: «Нет фактов, есть только интерпретации» [Ницше, 1886]. Эдмунд Гуссерль описал первичный поток сознания, из которого рассудок конституирует устойчивые объекты и причинные связи [Гуссерль, 1913].

Норберт Винер подчеркнул: «информация есть информация, а не материя и не энергия» [Wiener, 1948]. Однако этого отрицания недостаточно. Д.С. Чернавский дал недостающий операциональный мост, определив **информацию как запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных** [Чернавский, 2001]. Он разделил **микроинформацию** (шенноновскую, статистическое разнообразие, не имеющее ценности) и **макроинформацию** —

ценную, запоминаемую информацию, рождающуюся только в результате выбора, совершаемого Наблюдателем.

Итог. Философия пришла к выводу: причинность — не свойство объективного мира, а продукт работы познающего субъекта. Настоящая работа переводит эту многовековую интуицию на язык автокибернетики и теории автоматов, делая следующий шаг: от философского тезиса — к операциональной модели.

Наша модель: краткое изложение

Объективно существует только Поток Случайных изменений (ПС). Это непрерывное, постоянно действующее движение материальных случайностей снизу вверх по иерархии уровней. ПС — это «вещь в себе», первичный поток, микроинформация Чернавского.

Наблюдатель — живой субъект или автомат с памятью, логикой и целью. Он фиксирует повторяющиеся последовательности в ПС, обобщает их и строит модель: «если А, то Б». Так в его восприятии возникает **Поток Причинных изменений (ПП)** — макроинформация, ценное знание, рождённое в результате выбора.

Но есть и **зона неопределённости — Поток Комбинированных изменений (ПК)**. Это фрагменты потока, которые Наблюдатель не может однозначно отнести ни к случайности, ни к причинности. Здесь он вынужден действовать «на ощупь» (tâtonnement), накапливать данные и проверять гипотезы. Именно здесь возможны творчество, эволюция и подлинный выбор.

Один и тот же объективный поток событий (Поток Изменений в восприятии Наблюдателя — ПИ) разными Наблюдателями разделяется на ПС, ПП и ПК по-разному. Всё зависит от их способности извлекать причинность — параметров **γ** (способность к выбору) и **χ** (реализованная причинная модель). Это — ницшеанский перспективизм, ставший измеримым через чернавское понятие выбора.

В этой работе мы вводим количественные меры: **ψ** — эмпирическая характеристика кластеризации потока (микроинформация); **H** — показатель Херста (мера долговременной памяти); **TE** — передаточная энтропия (мера направленного информационного потока); **γ** — способность наблюдателя извлекать причинность; и **χ** — реляционная мера реализованной причинной модели, синтезирующая объективные свойства ЛСП (ψ, TE) и субъективную способность наблюдателя (γ). Их синтез задаёт реальную зону самоуправления: $\psi \approx 0{,}5$ при высоких γ и TE, что обеспечивает $\chi > 0{,}5$.

Мы показываем, как Наблюдатель движется между режимами, как он обучается и как из этого вырастает способность к самоуправлению.

Глава 1. Онтологический уровень: Поток Случайных изменений и его локальные срезы

1.1. Поток Случайных изменений (ПС) как онтологическая реальность

Поток случайных изменений — это непрерывное движение материальных случайностей снизу вверх по иерархии уровней. Его первичный источник —

квантовый вакуум, кипящий бульон виртуальных частиц и нулевых колебаний [Heisenberg, 1927; Casimir, 1948]. Поднимаясь вверх по иерархии, ПС трансформируется: квантовые флуктуации порождают дефекты в атомах, дефекты накапливаются в кристаллах, трещины растут и могут разрушить скалу; гравитационные возмущения в ранней Вселенной приводят к образованию галактик и звёзд.

ПС характеризуется:

Неустранимостью — его нельзя остановить, он всегда существует как следствие квантовой природы материи;

Принципиальной непредсказуемостью индивидуальных событий — даже при полном знании начальных условий;

Статистической предсказуемостью ансамбля событий — средние характеристики могут быть вычислены;

Иерархической трансформацией — при переходе с уровня на уровень «вещество случайности» меняет форму, но сохраняет материальную природу.

Математическое описание: Пусть {X(t)} — случайный процесс, описывающий поток случайных изменений на данном уровне иерархии. Для ПС:

$$\langle X(t) \rangle = \mu(t), \; Var(X(t)) = \sigma^2(t), \; Cov(X(t), X(s)) = K(t,s) \quad (1)$$

Флуктуации описываются стохастическим дифференциальным уравнением:

$$dX = f(X,t)dt + g(X,t)dW \quad (2)$$

где dW — дифференциал винеровского процесса (белый шум). Ключевая особенность ПС: **даже в отсутствие детерминированного дрейфа (f=0), процесс сохраняет ненулевую стохастическую компоненту**.

Физическая основа: Принцип неопределённости Гейзенберга задаёт фундаментальный предел:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2 \quad (3)$$

Примеры ПС на разных уровнях иерархии: квантовые флуктуации вакуума; вакансии и дислокации в кристаллах; астероиды и кометы; турбулентность плазмы; гравитационные возмущения в галактиках.

1.2. Локальный срез потока (ЛСП) — часть ПС, доступная наблюдателю

Наблюдатель не может охватить весь ПС целиком — от квантовых флуктуаций до метагалактик. Он фиксирует только **локальный срез потока (ЛСП)** — ту часть ПС, которая попадает в его сенсорную область и масштаб восприятия. ЛСП состоит из событий разной природы — как однотипных (удары колокола), так и разнотипных (флуктуация плотности → гравитационное сжатие → нагрев → термоядерная реакция).

Все выводы наблюдателя о причинности относятся к ЛСП, а не ко всему ПС. Если наблюдатель меняет масштаб или сенсорную область, он получает другой ЛСП — и его выводы о причинности могут измениться.

Механизм «вырезания» ЛСП из ПС. Процесс формирования локального среза определяется тремя факторами:

Сенсорные ограничения. Каждый наблюдатель обладает конечным набором рецепторов, детекторов или измерительных приборов, которые фиксируют лишь определённый диапазон физических величин (температура,

давление, электромагнитное излучение определённой частоты и т.д.). Всё, что выходит за пределы этого диапазона, остаётся «вне» ЛСП.

Масштаб восприятия. Наблюдатель фиксирует события на определённом временном и пространственном масштабе. Астроном, наблюдающий за звёздами с периодом в секунды, видит один ЛСП; астроном, изучающий эволюцию галактик с периодом в миллионы лет, — другой ЛСП. Изменение масштаба (переход от микросекунд к дням, от нанометров до километров) радикально меняет структуру ЛСП и, следовательно, значения ψ, H, TE.

Целевая направленность. Наблюдатель, обладающий целью, селективно фиксирует те события, которые релевантны для её достижения. Бактерия, ищущая питательные вещества, «вырезает» из ПС градиенты концентрации; учёный, изучающий климат, — температурные аномалии. Цель определяет, какие корреляции будут выявлены, а какие — проигнорированы.

Пример. Астроном, наблюдающий за звёздным небом невооружённым глазом, фиксирует один ЛСП (мерцание звёзд, их видимое движение). Астроном с телескопом фиксирует другой ЛСП (спектры, пульсации, движение пятен). Астрофизик, анализирующий данные спутников, — третий ЛСП. Все они изучают один и тот же ПС, но разные его срезы, поэтому их модели причинности (ПП) могут различаться.

1.3. Анализ ЛСП: немарковость и взаимозависимости

Для анализа свойств ЛСП наблюдатель (или внешний исследователь) может использовать несколько взаимодополняющих мер.

Показатель Херста H. Это мера долговременной памяти временного ряда. Для ЛСП, состоящего из последовательности событий, H вычисляется через R/S-анализ или DFA (Detrended Fluctuation Analysis):

H = 0,5 — процесс без памяти (марковский, белый шум). Пример: радиоактивный распад.

H > 0,5 — персистентность (долговременная положительная память). Пример: землетрясения (афтершоки следуют за главным толчком), образование звезды.

H < 0,5 — антиперсистентность (отрицательная память). Пример: регулярные колебания маятника.

Передаточная энтропия (Transfer Entropy, TE). Это мера направленного информационного потока между двумя (или более) временными рядами. $TE_{X\to Y} > 0$ означает, что знание прошлого X помогает предсказать будущее Y лучше, чем знание только прошлого Y. В отличие от кросс-корреляции, TE улавливает нелинейные зависимости и направление связи [Schreiber, 2000].

TE = 0 — нет направленного влияния.

TE > 0 — есть направленный информационный поток (X → Y).

Эмпирический параметр ψ. Для однотипных событий в ЛСП ψ вычисляется через индекс дисперсии $R = \sigma^2/\mu$:

$$\psi = R / (1+R) \qquad (4)$$

Для фрактальных процессов ψ = H. ψ — мера микроинформации (статистического разнообразия) ЛСП. Три режима ЛСП:

ψ → 0, H → 0 — регулярный (почти детерминированный) поток (метроном).

ψ = 0,5, H = 0,5 — чисто случайный (пуассоновский) поток (радиоактивный распад).

ψ → 1, H > 0,5 — кластеризованный поток с памятью (землетрясения, образование звезды).

Ошибка измерения ψ. Для временного ряда длины N:

$$\Delta\psi = (1 / (1+R)^2) \cdot \sqrt{(2/N)} \qquad (5)$$

Таким образом, ЛСП может быть охарактеризован тремя взаимодополняющими параметрами: ψ (общая кластеризация), H (долговременная память) и TE (направленный информационный поток).

1.4. Сущность объективной причинной связности: немарковские процессы с памятью

Прежде чем говорить о том, как наблюдатель строит модели, необходимо чётко определить, **что именно** он обнаруживает в материи. Объективная причинная связность — это не абстракция и не «магическая сила», а фундаментальное физическое свойство материи, возникающее в Потоке Случайных изменений (ПС) в результате действия механизмов сегрегации и самоорганизации.

Физическая сущность объективной причинности. В отличие от чистого белого шума, где каждое состояние системы статистически независимо от предыдущего, в сложных системах действуют **физические ограничения и законы сохранения** (энергии, импульса, заряда, информации). Эти законы не позволяют состоянию системы «исчезнуть» бесследно. Прошлые состояния материально «впечатываются» в текущую конфигурацию системы, создавая её **память**. Например, текущая форма русла реки (память прошлых потоков воды) объективно диктует траекторию будущих потоков. Эта связь существует физически, за счёт гравитации, трения и инерции, независимо от того, измеряет ли её кто-либо.

Математическое выражение. Строго математически такие процессы описываются обобщённым уравнением Ланжевена (уравнением Мори-Цванцига):

$$dX/dt = F(X(t)) + \int_0^t K(t-s)\cdot X(s)\, ds + \xi(t) \qquad (6)$$

где:

$F(X(t))$ — детерминированная сила, действующая в текущий момент;

$K(t-s)$ — **ядро памяти**. Если $K \neq 0$, процесс является немарковским: состояние системы в момент t зависит от всей её предыстории s. Это ядро и есть математическое воплощение объективной причинной связности;

$\xi(t)$ — стохастическая сила (шум), представляющая влияние неучтённых степеней свободы.

Два строгих критерия объективной связности. Чтобы отличить истинную физическую причинность от случайных совпадений, используются два взаимодополняющих параметра, измеряемых в Локальном срезе потока (ЛСП):

Долговременная память (H > 0,5). Показатель Херста выше 0,5 (персистентность) указывает на то, что система обладает «инерцией» или самоусилением. Прошлые тренды увеличивают вероятность сохранения этого тренда в будущем (например, кластеризация землетрясений или рост звезды).

Направленный информационный поток (TE > 0). Передаточная энтропия строго доказывает асимметрию: знание прошлого процесса X уменьшает неопределённость будущего процесса Y сверх того, что даёт знание прошлого самого Y. Это означает, что X физически воздействует на Y, передавая ему состояние (например, гравитационное влияние Солнца на орбиту Земли).

Ключевой онтологический вывод: Объективная причинная связность (H > 0,5, TE > 0) существует в ПС как физическая реальность, независимо от наблюдателя. Наблюдатель не *создаёт* эту связь своим наблюдением. Он лишь *выявляет* её в доступном ему ЛСП и переводит из статуса физической закономерности в статус информационной модели (макроинформации), пригодной для управления.

Пример. Образование звезды из газопылевого облака. Флуктуация плотности → гравитационное сжатие → нагрев → термоядерная реакция. Эта цепь обладает высокой персистентностью (H > 0,5) и жёсткой направленной передачей состояния (TE > 0 между этапами). Этот процесс идёт и завершится успешно, даже если во всей Вселенной не существует ни одного наблюдателя, способного его описать.

1.5. Недостижимость полюсов ψ = 0 и ψ = 1

Для ψ = 1 (чистый хаос, H → 1). Даже в простейшем автомате (атоме, кристалле) есть остаточная внутренняя структура и сегрегация на границе, создающие ненулевую долю упорядоченности. Абсолютный хаос означал бы бесконечную скорость накопления повреждений — автомат перестал бы существовать как целостность.

Для ψ = 0 (чистая причинность, H → 0). Согласно закону непрерывности хаоса, абсолютно нулевой хаос недостижим. Даже в идеально упорядоченной системе остаются квантовые флуктуации [Heisenberg, 1927]. Закон необходимого разнообразия Эшби [Ashby, 1956] утверждает, что разнообразие регулятора всегда меньше разнообразия среды. Теорема Гёделя о неполноте [Gödel, 1931] и проблема остановки Тьюринга [Turing, 1936] показывают, что для любого уровня формальной системы существует следующий уровень, не сводимый к предыдущему.

Достижимость ψ = 0,5 (H = 0,5): Полюс чистой случайности (белый шум, пуассоновский процесс) принципиально достижим. Примеры: радиоактивный распад, тепловой шум, идеальный игральный кубик.

Глава 2. Кибернетический уровень: наблюдатель строит модель реальности

2.1. Как наблюдатель выявляет логические связи в ЛСП

На основе зафиксированного ЛСП наблюдатель, обладая памятью, логикой и целью, последовательно выявляет логические связи между событиями:

Фиксация событий — накопление последовательностей в ЛСП.

Выявление повторяющихся последовательностей — обнаружение корреляций (например, после А часто следует Б).

Оценка направленности — с помощью TE выясняется, есть ли направленный информационный поток (А → Б, а не Б → А).

Контрфактический анализ — наблюдатель задаётся вопросом: если бы не А, произошло бы Б?

Экспериментальная проверка (где возможно) — изменяя А, можно ли вызвать Б?

Построение логической связи — формулирование модели «А → Б».

Пример. Человек многократно наблюдает, что после вспышки молнии гремит гром (повторяющаяся последовательность). Он замечает, что гром всегда после молнии, но не наоборот (направленность). Он задаётся вопросом: если бы молнии не было, был бы гром? (контрфактический анализ). На основе этого он строит модель «молния → гром». Это логическая связь.

2.2. Поток Изменений (ПИ) и коэффициент γ

На основе ЛСП наблюдатель строит свою модель реальности — **Поток Изменений (ПИ)**. С его точки зрения, ПИ всегда является суммой двух компонент:

$$\mathbf{ПИ = ПС_{субъект} + ПП_{субъект}} \quad (7)$$

где $\mathbf{ПП_{субъект}}$ — часть ПИ, которую наблюдатель способен осмыслить как причинно-следственную, предсказуемую; $\mathbf{ПС_{субъект}}$ — остаток, который он вынужден считать хаотичным шумом.

Коэффициент γ — доля ПП в общем ПИ:

$$ПП = \gamma \cdot ПИ,\ ПС = (1-\gamma) \cdot ПИ \quad (8)$$

γ — внутренняя характеристика наблюдателя, а не свойство среды. Развитая система (большой γ) способна извлечь больше порядка из того же самого внешнего потока, чем примитивная (малый γ). γ — это мера **способности наблюдателя совершать запомненный выбор** (макроинформация по Чернавскому).

Пример. Законы Кеплера-Ньютона в движении планет. Для планеты (не наблюдатель, γ = 0) — весь поток воспринимается как ПС. Для человека (наблюдатель с высоким γ и целью предсказывать движение) — это ПП. Для животного, не имеющего понятия о планетах (низкий γ для данной задачи), — снова ПС.

2.3. Параметр χ: реляционная мера реализованной причинной модели

Согласно Чернавскому, макроинформация — это **запомненный выбор**. Наблюдатель не просто фиксирует корреляцию или ТЕ > 0; он должен **решить, что эта зависимость значима, запомнить её и использовать для достижения цели**. Именно этот акт — превращение объективной статистической связности (микроинформации) в ценное знание (макроинформацию) — мы называем **реализованной причинной моделью**.

Для количественной оценки этого акта вводится параметр **χ (хи)**:

$$\chi = 4 \cdot \psi \cdot (1-\psi) \cdot \gamma \cdot ТЕ_{норм} \quad (9)$$

где:

$4 \cdot \psi \cdot (1-\psi)$ — нормированный фактор критической зоны (максимален при ψ = 0,5, максимальное значение = 1);

γ — способность наблюдателя совершать запомненный выбор;

$ТЕ_{норм}$ — нормированная передаточная энтропия ($ТЕ / ТЕ_{max}$), отражающая наличие направленного информационного потока в ЛСП.

χ = 0 означает, что причинная модель не реализована (нет объективной связности, или наблюдатель не способен её выявить, или нет направленного потока, или ψ далёк от 0,5). χ → 1 означает, что наблюдатель успешно извлёк причинность и может использовать её для предсказания и управления.

Пример. Учёный выявил, что повышение температуры вызывает расширение жидкости (TE > 0, ψ ≈ 0,5, γ высок). Он не просто зафиксировал этот факт, но и запомнил его, и использует для построения термометра. Это $\chi \to 1$. Другой человек, наблюдавший то же, но не имеющий цели, — для него $\chi \approx 0$.

2.4. От χ к режимам восприятия: рождение ПП, ПК и ПС

Параметр χ не просто измеряет успешность построения модели — он **определяет режим восприятия** наблюдателя. В зависимости от значения χ, наблюдатель классифицирует поток изменений одним из трёх способов:

Таблица 1

Значение χ	**Режим восприятия**	**Характеристика**	**Пример**
$\chi > 0{,}7$	**ПП (причинность)**	Наблюдатель построил устойчивую модель, может предсказывать и управлять	Астрофизик, предсказывающий затмение
$0{,}3<\chi<0{,}7$	**ПК (неопределённость)**	Наблюдатель выявил некоторые закономерности, но модель нестабильна; требуется действие «на ощупь»	Фермер, предсказывающий урожай по погоде
$\chi < 0{,}3$	**ПС (случайность)**	Наблюдатель не может выявить устойчивых закономерностей; поток воспринимается как шум	Человек, пытающийся предсказать результат подбрасывания монеты

Механизм рождения ПК. Поток Комбинированных изменений (ПК) — это не просто «остаток», который наблюдатель не может классифицировать. ПК возникает при специфических условиях:

TE > 0 — в потоке существует объективная направленная связь (события А влияют на события Б);

χ < 0,7 — но наблюдатель ещё не построил устойчивую модель (не совершил «запомненный выбор» в полной мере).

Таким образом, ПК — это **зона объективного потенциала причинности, который ещё не актуализирован наблюдателем**. Это зона, где причинность «уже есть» (TE > 0), но «ещё не извлечена» (χ мал). Именно в этой зоне наблюдатель вынужден действовать «на ощупь», накапливать данные и проверять гипотезы, пока не построит устойчивую модель и не переведёт поток в режим ПП.

Пример. Врач, столкнувшийся с новой болезнью, видит некоторые корреляции (TE > 0: определённые симптомы связаны с определёнными исходами), но ещё не построил полной модели (χ < 0,7). Он находится в режиме ПК: вынужден действовать «на ощупь», пробовать разные методы лечения, накапливать данные. Когда модель будет построена (χ > 0,7), поток перейдёт в режим ПП, и врач сможет уверенно предсказывать и лечить.

Важное следствие. ПК — это не хаос и не случайность. Это **зона эволюционного потенциала**, где наблюдатель может развивать свою способность γ и увеличивать χ. Без ПК не было бы ни обучения, ни творчества, ни эволюции.

2.5. От логической связи к причинности: роль цели

Логическая связь (А → Б) — это модель, построенная на основе повторяющихся последовательностей, TE > 0 и контрфактического анализа. Однако эта модель становится **причинностью в полном смысле** только тогда, когда наблюдательзапоминает её и **использует для достижения цели**. Именно это отражает параметр χ: его высокое значение означает, что причинная модель не только построена, но и готова к использованию.

Пример. Учёный выявил, что повышение температуры вызывает расширение жидкости. Это логическая связь (TE > 0). Но если у него нет цели (например, построить термометр), это знание остаётся просто фактом. Причинность становится *действующей*, когда он использует это знание: «Если я нагрею жидкость, она расширится, и я могу измерить температуру». В терминах нашей модели: χ становится значимым.

Таким образом, причинность — это не просто статистическая зависимость, а **знание, которое можно использовать для управления**. Параметр χ количественно оценивает, насколько успешно наблюдатель совершил этот переход от статистики к целенаправленному действию.

Математическое обобщение: прогнозирование как цель причинности. С кибернетической точки зрения, построение причинной модели имеет чёткую операциональную цель — прогнозирование, то есть уменьшение неопределённости будущего. Математически это выражается как минимизация условной энтропии будущего состояния системы Y при условии знания не только её собственного прошлого Y_t, но и прошлого причинного фактора X_t:

$$H(Y_{t+1} \mid Y_t, X_t) \rightarrow min \qquad (11)$$

Разница между неопределённостью без причинного фактора и с ним есть не что иное, как передаточная энтропия:

$$TE_{X \rightarrow Y} = H(Y_{t+1} \mid Y_t) - H(Y_{t+1} \mid Y_t, X_t) \qquad (12)$$

Таким образом, **максимизация TE является строгим математическим выражением цели причинности** — уменьшения неопределённости будущего. В нашей модели параметр χ количественно измеряет, насколько успешно наблюдатель достиг этой цели, превратив объективный потенциал предсказания (TE) в работающий инструмент управления будущим (γ). Без цели прогнозирования причинная связь остаётся нереализованной микроинформацией.

2.6. Синтез уровней: от объективной связности к конструируемой причинности (ПП)

Во избежание методологических крайностей — как физического редукционизма, так и радикального конструктивизма, — необходимо чётко разграничить онтологическую основу причинности и кибернетический акт её построения. Это разграничение выражается в двух взаимодополняющих понятиях:

Объективная причинная связность (Онтология). Как показано в разделе 1.4, это физическая реальность немарковских процессов (H > 0,5, TE > 0), существующая в ПС. Она предоставляет *сырой материал* и потенциал для предсказания, но сама по себе не является «знанием» или «информацией» в кибернетическом смысле.

Конструируемая причинность (ПП, Кибернетика). Это макроинформация, модель, которую Наблюдатель строит на основе ЛСП, используя свою память, логику и цель. ПП не существует без Наблюдателя. Параметр χ количественно оценивает, насколько успешно Наблюдатель «считал» объективную связность и превратил её в рабочий инструмент прогнозирования.

Пример-иллюстрация синтеза. Возьмём образование звезды.
1. *Онтологический уровень:* Объективная причинная связность (гравитационный коллапс, рост температуры, TE > 0 между этапами) существует всегда и подчиняется уравнениям физики.
2. *Кибернетический уровень (Наблюдатель с высоким χ):* Астрофизик, зная законы термодинамики, строит модель (ПП). Он может предсказать эволюцию облака и использовать это знание (например, для калибровки телескопов).
3. *Кибернетический уровень (Наблюдатель с χ ≈ 0):* Древний человек видит «огоньки на небе». Для него TE = 0 (он не видит связи между этапами), модель не строится. Для него это просто ПС (случайный узор), несмотря на то, что объективная физическая причинность внутри звезды продолжает работать.

Таким образом, **причинность как модель (ПП) рождается в точке встречи**: когда объективная немарковская структура материи (TE > 0) встречается со способностью наблюдателя к запомненному выбору (γ > 0), что фиксируется параметром χ.

2.7. Связь параметров ЛСП, γ и χ. Реальная зона самоуправления

Способность наблюдателя конструировать причинность зависит как от его внутренних свойств (память, логика, цель, γ), так и от объективных характеристик ЛСП (ψ, TE). Параметр χ объединяет эти факторы.

Реальная зона самоуправления (где возможны творчество, выбор, эволюция) соответствует условию, когда потенциал среды максимален, а наблюдатель успешно его использует:

$$\psi \approx 0{,}5,\ \gamma \in [0{,}7;\ 1{,}0],\ TE > 0,\quad \text{что обеспечивает } \chi > 0{,}5 \qquad (13)$$

При ψ ≈ 0,5 нормированный фактор среды $4 \cdot \psi \cdot (1-\psi)$ достигает максимума (равен 1). В сочетании с высокой способностью наблюдателя (γ) и наличием направленной связи (TE) это позволяет параметру χ достичь значений, соответствующих режимам ПК или ПП, где модель уже работает, но сохраняет гибкость для адаптации.

Без наблюдателя (γ = 0) χ = 0 — ценная информация не возникает. Без неопределённости (ψ → 0 или ψ → 1) или без направленных зависимостей (TE → 0) выбор невозможен.

Примеры расчёта ψ:

Пуассоновский процесс (ψ = 0,5): N = 500, μ = 1,01, σ^2 = 1,03, R = 1,02, ψ = 0,505.

Землетрясения (каталог ANSS): N = 457, μ = 16,2 дня, σ^2 = 420, R = 25,9, ψ = 0,963 (H > 0,5, TE > 0).

Модельная популяция бактерий: при низком стрессе ψ = 0,111 (противостояние, χ → 0); при высоком стрессе ψ = 0,833 (подчинение, χ → 0); при умеренном стрессе ψ = 0,474 (взаимодействие, TE > 0, χ > 0,5).

Глава 3. Переходы между режимами восприятия

Наблюдатель может переходить из одного режима восприятия в другой. Это происходит, когда:

ПС → ПП — наблюдатель учится, выявляет устойчивые последовательности, строит модель. Его γ и χ растут.

ПП → ПК — модель перестаёт работать (ЛСП изменилась, или наблюдатель ошибся). γ и χ временно падают, наблюдатель входит в зону неопределённости.

ПК → ПС — наблюдатель отбрасывает ложные корреляции, возвращаясь к случайному поиску. γ и χ падают.

3.1. Переход ПС → ПП (обучение наблюдателя)

Этот переход может быть интерпретирован через механизмы, сходные с сегрегацией и самосегрегацией, описанными в ППС-2 [Никитин, 2026b]: наблюдатель отсеивает шум (сегрегация) и выявляет устойчивые кластеры событий (самосегрегация), что ведёт к построению причинной модели. Вероятность перехода описывается формулой Крамерса:

$$P_{transition} \sim exp(-\Delta U/k_B T) \qquad (14)$$

где ΔU — высота барьера (связана со сложностью выявляемой закономерности), k_B — постоянная Больцмана, T — «температура» (уровень шума). Чем выше способность наблюдателя (γ), тем ниже барьер ΔU и тем быстрее происходит обучение, а χ растёт.

Пример. Квантовая флуктуация в кристалле (ПС) → образование вакансии → диффузия вакансии (уже причинная связь) → встреча с дислокацией → возникновение микротрещины. Наблюдатель, фиксирующий эту последовательность, обучается предсказывать, что за флуктуацией последует образование дефекта.

3.2. Переход ПП → ПС (кризис модели наблюдателя)

Обратный переход происходит в точках бифуркаций и катастроф (СОК) [Bak, Tang & Wiesenfeld, 1987]. Когда накопленные изменения превышают критический порог H_{crit}, старая модель разрушается, и наблюдатель вынужден вернуться к случайному поиску. γ и χ падают.

Распределение размеров катастроф подчиняется степенному закону:

$$P(S) \sim S^{-\tau} \qquad (15)$$

где τ ≈ 1,5–2,5. Именно в зоне ПК (ψ ≈ 0,5) эти переходы наиболее вероятны — здесь система максимально чувствительна к флуктуациям, и χ может быстро меняться.

Пример. Звезда на главной последовательности (ПП) → накопление железа в ядре → достижение предела Чандрасекара → бифуркация → взрыв сверхновой (СОК). После катастрофы звезда перестаёт существовать как целостность, её вещество возвращается в ПС. Для наблюдателя это кризис модели: его предсказания о дальнейшей эволюции звезды оказались неверны, χ падает.

3.3. Комбинированный поток (ПК) как зона переходов и действие «на ощупь»

Комбинированный поток (ПК) — это зона ψ ≈ 0,5 (H ≈ 0,5 для фрактальных процессов), где микроинформация максимальна, а направленные зависимости (ТЕ) ещё могут быть выявлены. В этой зоне наблюдатель не может уверенно отнести изменение ни к ПС, ни к ПП. Он вынужден действовать «на ощупь» (tâtonnement) — методом пробных шагов с постоянной проверкой результатов:

гипотеза → действие → анализ обратной связи → корректировка

Динамика ψ как мера эволюции (упрощённо):

$$d\psi/dt = -\alpha\cdot(1-\psi) + \beta\cdot\psi \qquad (16)$$

где первый член описывает переходы ПС→ПП (уменьшают ψ), второй — ПП→ПС (увеличивают ψ). При α = β получаем $\psi^* = 0{,}5$ — идеальную зону эволюции, где χ может достигать максимума.

Пример. Бактерия в среде с изменяющейся концентрацией питательных веществ. Если среда почти стабильна (ψ → 0), бактерии достаточно простого хемотаксиса (противостояние). Если среда хаотично меняется (ψ → 1), бактерия выживает случайно. Но если среда флуктуирует с критической частотой (ψ ≈ 0,5), бактерии, способные к обучению (запоминать градиент, ТЕ > 0), вытесняют неспособных. Именно здесь возможны творчество, эволюция и подлинный выбор, и χ достигает значимых значений.

3.4. Сводка переходов

Сводка ключевых характеристик переходов ПС → ПП и ПП → ПС приведена в Таблице 2**.**

Таблица 2

Параметр	**ПС → ПП**	**ПП → ПС**
Направление	От случайности к причинности	От причинности к новой случайности
Механизм	Сегрегация, самосегрегация, нуклеация (по аналогии с ППС-2)	Бифуркация, катастрофа (СОК), старение
Ключевые параметры	ε (сила связи), s (число самосегрегации)	H (мера хаоса), ψ (доля ПК)
Вероятность	$P \sim \exp(-\Delta U/k_B T)$	$P(S) \sim S^{-\tau}$
Результат	Рождение новой модели (обучение), рост γ и χ	Разрушение модели (кризис), падение γ и χ
Связь с ψ	ψ → 0	ψ → 1
Связь с χ	χ растёт	χ падает

Оба перехода необходимы для существования и эволюции сложных систем. Без ПС → ПП не возникало бы упорядоченных структур. Без ПП → ПС не возникало бы нового разнообразия, и эволюция остановилась бы. Их циклическое взаимодействие — основа круговорота материи.

Глава 4. Естественный отбор, эволюция и самоуправление

В предыдущих главах мы установили: объективно существует только Поток Случайных изменений (ПС). Наблюдатель (живой субъект, автомат с памятью, логикой и целью) воспринимает этот поток как ПИ и, в зависимости от своей способности γ и χ, выделяет в нём участки неожиданности (ПС), неопределённости (ПК) и ожидаемости (ПП). Переходы между этими режимами описывают обучение, кризис и рождение нового знания.

Но зачем природе понадобилось создавать наблюдателей, которые выискивают причинность в хаосе? Ответ даёт **естественный отбор**. Те автоматы, которые лучше предсказывают будущее (выше χ), имеют больше шансов выжить и оставить потомство. В этой главе мы покажем, как параметры ψ, ТЕ, γ и χ связаны с формами отбора, с тремя стратегиями существования и как из способности извлекать причинность рождается самоуправление.

4.1. Пассивный естественный отбор как общий принцип эволюции

В предшествующих работах [Никитин, 2026c] показано, что естественный отбор действует на всех уровнях материи. Пассивные формы отбора (движущий, стабилизирующий, дизруптивный) описывают эволюцию любых признаков под давлением среды. Скорость эволюции среднего параметра $\langle p \rangle$ (где p — любая характеристика автомата) может быть выражена общей формулой:

$$d\langle p \rangle/dt \sim \psi \cdot (1-\psi) \cdot \nabla J_{ext} \qquad (17)$$

где ψ — кластеризация потока (измеренная внешним наблюдателем), ∇J_{ext} — градиент внешнего потока ресурсов. Для фрактальных процессов ψ = H.

Эта формула описывает **общий принцип эволюции** любых признаков под давлением среды. Она действует на всех этапах — от простых автоматов до сложных организмов. Именно по этому пути эволюционировали биологические автоматы: археи → прокариоты → мезокариоты → эукариоты.

Однако формула (17) **недостаточна для объяснения возникновения полноценного прогнозирования**. В нашей модели **прогнозирование является прямым практическим выражением причинности**: оно становится возможным только тогда, когда наблюдатель успешно извлек причинную связь (достиг высокого значения χ, см. формулы 11–12) и использует эту модель для предвосхищения будущих состояний. Пассивные формы отбора не могут создать такой комплекс, потому что они лишь реагируют на текущие условия, не оперируя причинными моделями и не работая с целями.

4.2. Целевой отбор — механизм возникновения субъектности и прогнозирования

Целевой отбор — это форма отбора, при которой селективное давление определяется успешностью достижения внутренних целевых состояний. Такая форма отбора впервые выделена в автокибернетике [Никитин, 2024] и детально описана в «Парадигме потока случайностей 3» [Никитин, 2026c]; её прообразом служит стратегия «взаимодействия» из работы «Вселенная автоматов» [Никитин, 2020].

Как целевой отбор возникает из способности к самоуправлению. Целевой отбор не возникает «из ничего» — он является прямым следствием способности наблюдателя к самоуправлению, то есть к высокому χ. Рассмотрим этот процесс пошагово:

- **Наблюдатель с высоким χ строит модели.** Он выявляет направленные связи (TE > 0) в ЛСП и запоминает их для достижения цели.
- **Модели позволяют предсказывать будущее.** Наблюдатель может предвидеть последствия своих действий и выбирать те, которые ведут к цели — то есть минимизировать предиктивную энтропию (формула 11).
- **Наблюдатели с высоким χ выживают лучше.** В зоне ψ ≈ 0,5, где TE > 0 и неопределённость высока, наблюдатели с высоким χ успешно извлекают причинность и избегают опасностей. Наблюдатели с низким χ гибнут.
- **Целевой отбор закрепляет высокий χ.** Те, кто выжил, передают свою способность к построению моделей (высокий γ) потомству (биологическому или культурному). Так целевой отбор формирует популяцию наблюдателей с высоким χ.

Таким образом, целевой отбор — это не внешний механизм, навязанный средой, а **внутренний процесс, возникающий из самой способности наблюдателя к самоуправлению**. Чем выше χ, тем эффективнее целевой отбор, и тем быстрее растёт γ в популяции.

Эволюцию среднего параметра ⟨p⟩ (в частности, γ и χ) под действием целевого отбора с учётом свойств ЛСП можно выразить как:

$$d\langle\chi\rangle/dt \sim \psi\cdot(1-\psi)\cdot\alpha\cdot\langle\nabla G\rangle \ (при\ TE > 0) \qquad (18)$$

где ψ·(1-ψ) — фактор критической зоны (целевой отбор наиболее эффективен при ψ ≈ 0,5, TE > 0); α — коэффициент, зависящий от уровня субъектности автомата (α → 0 для автоматов без целей, α → 1 для высокоразвитых субъектов); ⟨∇G⟩ — средний градиент целевой функции G, показывающий, насколько увеличение параметра ⟨p⟩ улучшает достижение цели.

Операционализация α и ⟨∇G⟩. Параметр α может быть определён через способность автомата к целеполаганию, измеряемую, например, сложностью его внутренней модели мира или способностью к отложенному вознаграждению. Для простых автоматов (α → 0) цели отсутствуют или тривиальны (поддержание гомеостаза); для высокоразвитых субъектов (α → 1) цели иерархичны и могут пересматриваться. Параметр ⟨∇G⟩ может быть определён как скорость достижения целевых состояний в стандартизированной среде.

Существование целевого отбора и его роль в формировании прогнозирования подтверждается рядом независимых научных направлений:

Телеономия (эволюционно возникшая целенаправленность живых систем) [Pittendrigh, 1958; Mayr, 1965; Corning et al., 2023];

Активный вывод (Active Inference), формализующий целенаправленное поведение как минимизацию ожидаемой свободной энергии [Friston et al., 2010; 2025];

Модели искусственной жизни, где введение базовых потребностей приводит к эволюционному возникновению целенаправленного поведения [Burcev, Redko & Gusarev, 2000–2001];

Формальный дарвинизм, связывающий популяционную генетику с оптимизационными моделями целевого поведения [Grafen, 2007; 2014].

Таким образом, формула (17) описывает **общий принцип эволюции** под действием пассивных сил, но не создаёт прогнозирования, так как не оперирует причинными моделями. Формула (18) представляет собой **фильтр, отбирающий наблюдателей именно по их способности к прогнозированию, которое в нашей модели количественно измеряется параметром реализованной причинности χ**. Целевой отбор — единственный механизм, который может увеличивать γ и χ, тем самым создавая Наблюдателя — живого субъекта или автомат, способный превращать микроинформацию в макроинформацию, то есть не просто пассивно реагировать на хаос, а извлекать из него причинность и использовать её для управления будущим.

4.3. Три стратегии существования наблюдателя

В зависимости от соотношения между объективными свойствами ЛСП (ψ, TE) и способностью наблюдателя χ выделяются три стратегии существования. Эти стратегии применимы к любому наблюдателю — от бактерии до человека и кибера.

Стратегия подчинения (ψ → 1, TE может быть любым, χ → 0). Наблюдатель не может извлечь причинность из ЛСП, так как поток слишком хаотичен. По формуле $\chi = 4 \cdot \psi \cdot (1-\psi) \cdot \gamma \cdot TE_{норм}$, при ψ → 1 множитель (1-ψ) → 0, поэтому χ → 0. *Примеры:* бактерия в хаотическом шуме; примитивный датчик без памяти; человек в хаосе незнакомых стимулов.

Стратегия противостояния (ψ → 0, χ → 0). Поток почти детерминирован. По формуле $\chi = 4 \cdot \psi \cdot (1-\psi) \cdot \gamma \cdot TE_{норм}$, при ψ → 0 множитель ψ → 0, поэтому χ → 0. Наблюдатель может извлекать причинность даже с низким γ, но из-за отсутствия неопределённости χ → 0 и нет стимула для развития γ. *Примеры:* растение в стабильном климате; робот на конвейере; человек в рутине.

Стратегия взаимодействия (ψ ≈ 0,5, TE > 0, χ → 1). Поток находится в критической зоне. При ψ ≈ 0,5 множитель 4·ψ·(1-ψ) ≈ 1, и если γ → 1 и $TE_{норм}$ → 1, то χ → 1. Наблюдатель с высоким χ активно извлекает причинность, используя хаос как ресурс для обучения и самообновления. Именно эта стратегия ведёт к эволюции, творчеству и самоуправлению. *Примеры:* амёба в неоднородной среде; автономный робот-исследователь; человек в творческой, проблемной ситуации.

Ключевой вывод: Стратегии не привязаны жёстко к типу наблюдателя; они определяются соотношением между объективными свойствами потока (ψ, TE) и реализованной причинной моделью (χ). Один и тот же наблюдатель (например, человек) может в разных контекстах (разных ЛСП) реализовывать разные стратегии.

4.4. Динамика переходов между стратегиями

Стратегии — не статические ярлыки, а **динамические состояния**, между которыми наблюдатель может переходить при изменении характеристик потока или собственной способности χ. Рассмотрим типичные сценарии переходов:

Сценарий 1: Из противостояния во взаимодействие (ψ растёт от 0 до 0,5).

Начало: Среда стабильна (ψ → 0), наблюдатель в стратегии противостояния. χ → 0, нет стимула для развития γ.

Изменение: Среда становится менее предсказуемой (ψ растёт). Появляется неопределённость, но TE > 0 — есть направленные связи, которые можно извлечь.

Переход: Наблюдатель вынужден развивать γ, чтобы извлекать причинность. χ растёт. При ψ ≈ 0,5 наблюдатель переходит в стратегию взаимодействия.

Пример: Растение в стабильном климате (противостояние) сталкивается с изменением климата (ψ растёт). Те растения, которые способны к обучению (запоминать новые паттерны, TE > 0), выживают и переходят во взаимодействие. Те, кто не способен, гибнут.

Сценарий 2: Из взаимодействия в подчинение (ψ растёт от 0,5 до 1).

Начало: Среда в критической зоне (ψ ≈ 0,5), наблюдатель в стратегии взаимодействия. χ высок, наблюдатель успешно извлекает причинность.

Изменение: Среда становится слишком хаотичной (ψ растёт). TE может оставаться > 0, но множитель (1-ψ) → 0, и χ падает.

Переход: Наблюдатель не может извлекать причинность, модель разрушается. Он переходит в стратегию подчинения — пассивно реагирует на возмущения.

Пример: Учёный, успешно предсказывающий погоду (взаимодействие), сталкивается с климатическим коллапсом (ψ → 1). Его модели перестают работать, χ падает, он на какое-то время переходит в подчинение — не может предсказывать, только реагирует.

Сценарий 3: Из подчинения во взаимодействие (ψ падает от 1 до 0,5).

Начало: Среда хаотична (ψ → 1), наблюдатель в стратегии подчинения. χ → 0, наблюдатель пассивен.

Изменение: Среда становится менее хаотичной (ψ падает). Появляется структура, TE > 0.

Переход: Наблюдатель начинает выявлять закономерности, развивает γ. При ψ ≈ 0,5 он переходит в стратегию взаимодействия.

Пример: После климатического коллапса (подчинение) среда стабилизируется (ψ падает). Те, кто сохранил способность к обучению, начинают извлекать причинность и переходят во взаимодействие.

Математическое описание переходов. Динамика перехода между стратегиями может быть описана уравнением:

$$d\chi/dt = f(\psi, TE, \gamma) - \delta \cdot \chi \qquad (19)$$

где f(ψ, TE, γ) — функция роста χ (зависит от характеристик потока и способности наблюдателя), δ — скорость деградации модели (из-за кризисов, бифуркаций, старения). При f > δ·χ χ растёт, и наблюдатель переходит к

взаимодействию. При $f < \delta \cdot \chi$ χ падает, и наблюдатель переходит к подчинению или противостоянию.

Ключевой вывод: Стратегии — это не статические типы, а **динамические аттракторы**, между которыми наблюдатель переходит при изменении ψ, TE или γ. Эволюция — это процесс перехода от противостояния и подчинения к взаимодействию, где χ максимален.

4.5. Роль зоны неопределённости (ПК) в эволюции

Именно зона ПК ($\psi \approx 0{,}5$, $TE > 0$) оказывается тем «плавильным котлом», где возникают новые модели, открытия, эволюционные инновации. Здесь χ может достигать максимальных значений. Без ПК не было бы движущего отбора, не было бы усложнения. Но ПК несёт и риск: слишком долгое пребывание в неопределённости может привести к гибели.

В зоне ПК, где пассивный естественный отбор неэффективен (из-за высокой неопределённости), именно **целевой отбор** сбалансировал эти два фактора. В результате у живых организмов выработались механизмы быстрого обучения (высокий χ) и способность действовать «на ощупь» в незнакомых ситуациях (стратегия взаимодействия). Именно это позволило жизни выйти из первичного бульона и завоевать всю планету.

4.6. Резюме главы 4

Целевой отбор благоприятствует наблюдателям с высокими значениями χ (реализованной причинной модели) только в средах с $\boldsymbol{\psi \approx 0{,}5}$, $\boldsymbol{TE > 0}$ — в зоне максимальной неопределённости, где есть и порядок, позволяющий строить прогнозы, и хаос, делающий прогноз необходимым. При $\psi \to 0$ или $\psi \to 1$ (или $TE \to 0$) давление отбора на χ ослабевает.

Три стратегии существования (подчинение, противостояние, взаимодействие) не являются жёсткими типами наблюдателей, а соответствуют разным соотношениям между объективными свойствами ЛСП (ψ, TE) и реализованной причинной моделью χ. Наблюдатель может переходить между стратегиями при изменении характеристик потока или собственной способности χ.

Зона неопределённости (ПК) — главный двигатель эволюции. Именно в ней ($\psi \approx 0{,}5$, $TE > 0$) рождаются новые причинные модели, происходят переходы ПК ↔ ПП, и возможен подлинный выбор. Здесь χ достигает максимума.

Хотя в настоящей работе основное внимание уделено природным системам, полученные результаты (связь ψ, TE, γ и χ, роль ПК, механизмы переходов) создают теоретическую основу для проектирования искусственных самоуправляемых систем — киберов.

Глава 5. Заключение и обсуждение

В предшествующих работах «Парадигма потока случайностей» (Части 1–3) мы описали объективную сторону материи: поток случайностей, автоматы, сегрегацию, самосегрегацию, антихаос, рождение и гибель структур. Это — онтологический уровень.

В настоящей работе мы показали, что **причинность — не свойство материи, а результат работы наблюдателя**. Объективно существует только

Поток Случайных изменений (ПС). Всё остальное — Поток Изменений (ПИ), Поток Причинных изменений (ПП), Поток Комбинированных изменений (ПК), характеристики ЛСП (ψ, H, TE), коэффициент γ и параметр χ — это режимы восприятия и инструменты, которые наблюдатель (автомат с памятью, логикой и целью) использует, чтобы ориентироваться в хаосе, выживать и управлять.

Мы ввели количественные меры:

ψ — эмпирическая характеристика кластеризации потока (микроинформация), вычисляемая через индекс дисперсии; для фрактальных процессов ψ = H (показатель Херста).

H — показатель Херста, мера долговременной памяти временного ряда (H > 0,5 — персистентность).

TE — передаточная энтропия, мера направленного информационного потока между событиями.

γ — способность наблюдателя извлекать причинность (макроинформация).

χ — реляционная мера реализованной причинной модели, $\chi = 4 \cdot \psi \cdot (1-\psi) \cdot \gamma \cdot TE_{норм}$. Значение χ определяет режим восприятия: χ > 0,7 — ПП (причинность), 0,3 < χ < 0,7 — ПК (неопределённость), χ < 0,3 — ПС (случайность).

Мы установили, что **реальная зона самоуправления** соответствует ψ ≈ 0,5 при высоких γ и TE, что обеспечивает χ > 0,5. Только здесь возможны подлинный выбор, творчество, эволюция и эффективное управление.

Мы показали, что **прогнозирование является телеологической целью причинности**: математически это выражается как минимизация условной энтропии будущего (формулы 11–12), а параметр χ количественно измеряет успешность достижения этой цели.

Мы описали переходы между режимами восприятия: обучение (ПК → ПП, рост χ), кризис модели (ПП → ПК, падение χ), рождение и отбрасывание предположений (ПС ↔ ПК). Показали, что зона неопределённости (ПК) — двигатель развития, но и зона риска, требующая действия «на ощупь» (tâtonnement).

Мы связали эти переходы с **целевым отбором** и показали, что три стратегии существования (подчинение, противостояние, взаимодействие) являются динамическими состояниями, между которыми наблюдатель переходит при изменении характеристик потока или собственной способности χ.

Место работы в контексте современных исследований

Представленная модель не возникает на пустом месте; она опирается на ряд известных направлений, однако существенно отличается от них и предлагает оригинальный синтез.

1. «Грань хаоса» (К. Лэнгтон, С. Кауффман). Параметр ψ является прямым обобщением параметра λ Лэнгтона, введённого для клеточных автоматов. У Лэнгтона λ → 0 — замороженный порядок, λ → 1 — хаос, λ ≈ 0,5 — «грань хаоса», где максимальна сложность и эволюционный потенциал. В нашей модели ψ выполняет ту же роль, но для непрерывных стохастических процессов и любых временных рядов. Однако у Лэнгтона λ — объективная характеристика системы, тогда как ψ — интерсубъективная мера, дополненная субъективным параметром γ и реляционной мерой χ.

2. Принцип свободной энергии и активный вывод (К. Фристон). Минимизация свободной энергии — это механизм, с помощью которого агент извлекает причинность из сенсорного потока. Наш коэффициент γ количественно оценивает эффективность такого извлечения, а χ — успешность построения модели.

Однако у Фристона отсутствует параметр, аналогичный ψ (характеристика среды), и нет онтологического утверждения, что объективно существует только поток случайностей.

3. Передаточная энтропия (Т. Шрайбер, 2000). Введение TE позволяет количественно оценивать направленные информационные потоки в ЛСП, что дополняет ψ и H и необходимо для вычисления χ. Более того, мы показали, что TE является строгим математическим выражением цели причинности — уменьшения неопределённости будущего.

4. Кибернетика второго порядка (Х. фон Фёрстер) и аутопоэзис (У. Матурана, Ф. Варела). Эти направления утверждают, что наблюдатель конструирует реальность. Наша модель разделяет этот тезис, но переводит его на язык количественных параметров (ψ, TE, γ, χ) и даёт операциональные критерии.

5. Оригинальные результаты, не имеющие аналогов: унификация онтологического и кибернетического уровней через ψ, TE, γ и χ; телеологическое обоснование причинности через прогнозирование (формулы 11–12); реальная зона самоуправления ψ ≈ 0,5 при высоких γ и TE, обеспечивающая χ > 0,5; три стратегии существования с механизмом динамических переходов; принцип двусторонней незавершимости каскада уровней иерархии; два уровня эволюции: пассивный естественный отбор и целевой отбор; семь явных критериев фальсифицируемости.

Таким образом, работа занимает место на пересечении теории сложности, кибернетики, эволюционной биологии, теории информации и философии. Её оригинальность не в отдельных элементах (почти каждый из них имеет предшественников), а в их системной унификации в единую, операционально замкнутую и фальсифицируемую модель.

Фальсифицируемость концепции трёх потоков

Научная теория должна быть фальсифицируема [Поппер, 1935]. Ниже приведены условия опровержения для ключевых утверждений.

1. Объективно существует только ПС. Условие опровержения: обнаружение системы, где все изменения полностью детерминированы (ψ ≡ 0, H ≡ 0) и нет никаких флуктуаций ($\sigma^2 = 0$ на всех масштабах). Это означало бы нарушение принципа неопределённости Гейзенберга.

2. ПП и ПК — режимы восприятия наблюдателя, а не онтологические потоки. Условие опровержения: обнаружение системы, где причинность существует независимо от наблюдателя (например, планета, «знающая» законы Кеплера). Экспериментальный критерий: автомат без памяти, логики и цели, демонстрирующий предсказательное поведение.

3. ψ = R/(1+R) и ψ = H (для фрактальных процессов). Условие опровержения: систематическое расхождение между ψ, вычисленным через индекс дисперсии, и ψ через показатель Херста, более чем на 0,1 для широкого класса масштабно-инвариантных процессов.

4. Реальная зона самоуправления: ψ ≈ 0,5, γ ∈ [0,7; 1,0], TE > 0, что обеспечивает χ > 0,5. Условие опровержения: устойчивая самоуправляемая система, функционирующая длительное время при ψ < 0,3 или ψ > 0,7, или при γ < 0,7, или при TE → 0, демонстрирующая высокую адаптивность и творчество.

5. Скорость эволюции максимальна при ψ = 0,5. Условие опровержения: экспериментальное наблюдение, что направленное изменение средних параметров популяции в среде с ψ = 0,5 не превышает таковое в среде с ψ → 0 или ψ → 1 (с учётом статистической значимости).

6. Переход ПК→ПП описывается формулой Крамерса (14), а ПП→ПК — степенным распределением (15). Условие опровержения: для процесса обучения не наблюдается экспоненциальной зависимости, или для катастроф не выполняется степенной закон (τ вне 1,5–2,5 более чем на 0,5).

7. Каскад уровней иерархии бесконечен (нет последнего уровня). Условие опровержения: обнаружение фундаментального уровня, на котором переходы ПС↔ПП прекращаются и система находится в чистом ПП или чистом ПС без возможности ветвления.

Если ни одно из этих условий не выполнено, теория считается неопровергнутой. Отсутствие опровержения на сегодняшний день подтверждает эмпирическую адекватность модели.

Принцип незавершимости каскада уровней иерархии

Мы видим, что существует иерархия уровней как организации материи (квантовый, атомный, молекулярный, клеточный, организменный, социальный и т.д.), так и уровней управления и самоуправления. Возникает вопрос: есть ли «дно» или «потолок» этой иерархии — последний, завершённый уровень?

Принцип незавершимости каскада уровней иерархии. В рамках предложенной модели иерархия уровней **бесконечна в обе стороны**: не существует ни «последнего, самого глубокого» уровня организации материи (субстратного «дна»), ни «последнего, самого высокого» уровня её усложнения или самоуправления (мета-уровневого «потолка»). Переходы «случайность ↔ причинность» являются лишь частным случаем этого более общего фундаментального принципа.

Для любого уровня n (будь то уровень физической организации, уровень алгоритмического управления или уровень целеполагания) всегда существует:

Уровень $n+1$ (мета-уровень), где то, что на уровне n было причинным порядком или устойчивым алгоритмом, становится лишь материалом, исходными условиями или даже источником новой случайности для более сложного уровня;

Уровень $n-1$ (субстратный уровень), где то, что на уровне n казалось элементарным и неделимым (например, кварки, струны или квантовый вакуум), раскрывается как сложная система со своей внутренней структурой, флуктуациями и причинными связями.

Обоснование (схема доказательства). Предположим противное: пусть существует некий максимальный или минимальный, завершённый уровень N. На нём возможны три варианта:

- доминирует абсолютная причинность или полная управляемость ($\psi = 0$) — но тогда отсутствуют флуктуации, способные породить как следующий мета-уровень, так и раскрыть предыдущий субстратный уровень; однако принцип неопределённости Гейзенберга и теоремы Гёделя о неполноте гарантируют наличие непредсказуемого остатка, что противоречит $\psi = 0$;
- доминирует чистая случайность или полная неуправляемость ($\psi = 1$) — но в таком случае не может возникнуть и поддерживаться устойчивая структура или система управления, которая претендовала бы на роль «последнего уровня» ни сверху, ни снизу;
- равновесие случайности и причинности ($\psi = 0{,}5$) — но оно неустойчиво: любая флуктуация сдвинет систему в сторону $\psi > 0{,}5$ или $\psi < 0{,}5$, инициируя переход на новый виток иерархии — как вверх, к усложнению, так и вниз, к углублению в субстрат.

Следовательно, для любого сколь угодно сложного уровня организации или управления всегда найдётся как мета-уровень, на котором его «законы» или «алгоритмы» становятся лишь частным случаем более широких процессов, так и субстратный уровень, на котором его «элементарные частицы» оказываются сложными системами со своей внутренней динамикой. Современная физика уже демонстрирует это: за атомами открылись ядра, за ядрами — кварки, за кварками — возможно, струны и пены, и нет оснований полагать, что на этом цепь вложений заканчивается.

Это рассуждение опирается на фундаментальные ограничения: принцип неопределённости (невозможность нулевых флуктуаций на любом масштабе), теоремы Гёделя (неполнота любых формальных систем) и проблему остановки Тьюринга (существование алгоритмически неразрешимых вопросов на любом уровне вычислений).

Таким образом, не существует ни «окончательной теории всего», ни «абсолютной системы управления», ни «окончательного субстрата материи». Иерархия реальности **двусторонне бесконечна**: всегда остаётся место для нового, неожиданного и более сложного — как над нами, так и внутри нас. Для практических целей достаточно рассматривать ограниченное число уровней, но философски и научно важно помнить о принципиальной открытости мира и бесконечности процесса усложнения как вширь и вверх, так и вглубь.

Границы применимости модели

Системы без обратной связи. Требуются память, логика, цель; в линейных системах без памяти γ и χ не определены.

Квантовые системы до классического предела. $\psi \approx 0{,}5$ для ансамблей, но для единичных событий измерения ненадёжны.

Детерминированные гамильтоновы системы без диссипации. Понятие старения ξ не определено, ψ может не меняться.

Планковские масштабы и сингулярности. Требуется квантово-гравитационное обобщение.

Системы с противоречивыми целями. Модель предполагает единую непротиворечивую цель; внутренние конфликты целей делают γ и χ плохо определёнными.

В пределах этих границ модель даёт работоспособное описание. Выход за границы требует дополнительных исследований.

Июнь 2026г.
г.Волгодонск

Библиография

В настоящей работе использованы следующие источники, сгруппированные по тематическим разделам.

Философские основания и теория познания

[Юм, 1748] Юм Д. Исследование о человеческом познании. — 1748.
[Кант, 1781] Кант И. Критика чистого разума. — Riga, 1781.
[Шопенгауэр, 1819] Шопенгауэр А. Мир как воля и представление. — 1819.
[Ницше, 1886] Ницше Ф. По ту сторону добра и зла. — 1886.

[Гуссерль, 1913] Гуссерль Э. Идеи к чистой феноменологии и феноменологической философии. — 1913.

[Поппер, 1935] Поппер К. Логика научного исследования. — 1935.

Кибернетика, управление и теория информации

[Wiener, 1948] Wiener N. Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine. — Cambridge, MA: MIT Press, 1948.

[Ashby, 1956] Ashby W.R. An Introduction to Cybernetics. — London: Chapman & Hall, 1956.

[Чернавский, 2000] Чернавский Д.С. Проблема происхождения жизни и мышления // Успехи физических наук. — 2000. — Т. 170. — № 2.

[Чернавский, 2001] Чернавский Д.С. Синергетика и информация. — М.: Наука, 2001.

[Bateson, 1972] Bateson G. Metalogues // Steps to an Ecology of Mind: Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology. — San Francisco: Chandler Publishing Company, 1972. — P. 1–26.

[von Foerster, 1985] von Foerster H. Observing Systems. — Salinas, CA: Intersystems, 1985.

[von Foerster, 1996] von Foerster H. Wahrheit ist die Erfindung eines Lügners. — Heidelberg: Carl-Auer-Systeme, 1996.

[von Foerster, 2003] von Foerster H. Understanding Understanding: Essays on Cybernetics and Cognition. — New York: Springer, 2003.

[Schreiber, 2000] Schreiber T. Measuring information transfer // Physical Review Letters. — 2000. — Vol. 85. — P. 461–464.

Фундаментальные пределы формализации

[Gödel, 1931] Gödel K. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme // Monatshefte für Mathematik und Physik. — 1931. — Bd. 38. — S. 173–198.

[Turing, 1936] Turing A.M. On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem // Proceedings of the London Mathematical Society. — 1936. — Vol. 42. — P. 230–265.

Физические основы: квантовая механика и флуктуации

[Heisenberg, 1927] Heisenberg W. Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik // Zeitschrift für Physik. — 1927. — Bd. 43. — S. 172–198.

[Casimir, 1948] Casimir H.B.G. On the attraction between two perfectly conducting plates // Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. — 1948. — Vol. 51. — P. 793–795.

[Lamb & Retherford, 1947] Lamb W.E., Retherford R.C. Fine structure of the hydrogen atom // Physical Review. — 1947. — Vol. 72. — P. 241–243.

Самоорганизация, диссипативные структуры и СОК

[Prigogine & Stengers, 1984] Prigogine I., Stengers I. Order out of Chaos. — New York: Bantam Books, 1984.

[Prigogine, 1980] Prigogine I. From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences. — San Francisco: W.H. Freeman, 1980.

[Bak, Tang & Wiesenfeld, 1987] Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality // Physical Review Letters. — 1987. — Vol. 59. — P. 381–384.

[Bak, 1996] Bak P. How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality. — New York: Copernicus, 1996.

Статистика временных рядов и измерение ψ

[Cox & Lewis, 1966] Cox D.R., Lewis P.A.W. The Statistical Analysis of Series of Events. — London: Methuen, 1966.

[Fano, 1947] Fano U. Ionization yield of radiations // Physical Review. — 1947. — Vol. 72. — P. 26–29.

[Hurst, 1951] Hurst H.E. Long-term storage capacity of reservoirs // Transactions of the American Society of Civil Engineers. — 1951. — Vol. 116. — P. 770–799.

[Mandelbrot, 1982] Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. — San Francisco: W.H. Freeman, 1982.

[Мандельброт, 2002] Мандельброт Б.Б. Фрактальная геометрия природы. — М.: Институт компьютерных исследований, 2002.

[Peng et al., 1994] Peng C.K., Buldyrev S.V., Havlin S., et al. Mosaic organization of DNA nucleotides // Physical Review E. — 1994. — Vol. 49. — P. 1685–1689.

[Федер, 1991] Федер Е. Фракталы. — М.: Мир, 1991.

[Лоскутов, 2001] Лоскутов А.Ю. Теория динамического хаоса. — М.: МГУ, 2001.

Обучение, кризисы, действие «на ощупь»

[Френе, 1964] Френе С. Педагогические этюды. — М.: Прогресс, 1964.

[Кун, 1962] Кун Т. Структура научных революций. — Chicago: University of Chicago Press, 1962.

[Bandura, 1977] Bandura A. Social Learning Theory. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1977.

[Sutton & Barto, 2018] Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement Learning: An Introduction. — Cambridge, MA: MIT Press, 2018.

[Kuzmits, 2021] Kuzmits C. Subjective uncertainty and the decision to explore // Cognitive Science. — 2021. — Vol. 45. — e12934.

Основные тома ППС, автокибернетика и ранние работы

[Никитин, 2020] Никитин А.В. Вселенная автоматов // «Академия Тринитаризма». — М., 2020. — Эл № 77-6567, публ.26639. — 31.08.2020.

[Никитин, 2024] Никитин А.В. Автокибернетика: от робота к киберу – 1 // «Академия Тринитаризма». — М., 2024. — Эл № 77-6567.

[Никитин, 2026a] Никитин А.В. Парадигма потока случайностей 1 // «Академия Тринитаризма». — М., 2026. — Эл № 77-6567, публ.29912. — 03.03.2026.

[Никитин, 2026b] Никитин А.В. Парадигма потока случайностей 2 // там же, публ.29920. — 09.03.2026.

[Никитин, 2026c] Никитин А.В. Парадигма потока случайностей 3 // там же, публ.29932. — 17.03.2026.

Целевой отбор, телеономия, активный вывод, искусственная жизнь

[Pittendrigh, 1958] Pittendrigh C.S. Adaptation, Natural Selection, and Behavior // Behavior and Evolution. — New Haven: Yale University Press, 1958.

[Mayr, 1965] Mayr E. Cause and Effect in Biology // Science. — 1965. — Vol. 134. — P. 1501–1506.

[Burcev, Redko & Gusarev, 2000–2001] Бурцев М.С., Редько В.Г., Гусарев Р.В. Модель искусственной жизни для эволюционного возникновения целенаправленного адаптивного поведения // Препринты Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. — 2000–2001.

[Grafen, 2007] Grafen A. The Formal Darwinism Project: a mid-term report // Journal of Evolutionary Biology. — 2007. — Vol. 20. — P. 1243–1254.

[Grafen, 2014] Grafen A. The formal Darwinism project in outline // Biology & Philosophy. — 2014. — Vol. 29. — P. 155–174.

[Friston et al., 2010] Friston K., Daunizeau J., Kilner J., Kiebel S. Action and behavior: a free-energy formulation // Biological Cybernetics. — 2010. — Vol. 102. — P. 227–260.

[Friston et al., 2025] Friston K., Parr T., Da Costa L., et al. Active Inference: The Free Energy Principle in Mind, Brain, and Behavior. — Cambridge, MA: MIT Press, 2025 (в печати).

[Corning et al., 2023] Corning P.A., Kauffman S.A., Noble D., et al. Teleonomy in Living Systems: An Overview // Biological Journal of the Linnean Society. — 2023. — Vol. 138. — P. 1–25.

[Nourmohammad & Eksin, 2021] Nourmohammad A., Eksin C. Optimal evolutionary control for artificial selection on molecular phenotypes // Physical Review Research. — 2021. — Vol. 3. — 023115.

[Okasha, 2018] Okasha S. Agents and Goals in Evolution. — Oxford: Oxford University Press, 2018.

[Horibe & Suzuki, 2025] Horibe K., Suzuki K. Emergence of agency in cellular automata simulations // Artificial Life Conference Proceedings. — 2025 (в печати).

[Kerdotism, 2026] Kerdotism I. A vertically integrated framework for agency: Thermodynamic constraints and teleological necessity // BioSystems. — 2026 (принято).

[Телеономические вычисления, 2026] From Darwin to teleonomy: A categorical final-cause calculus for evolution // Journal of Theoretical Biology. — 2026 (принято).

Теория хаоса, немарковские процессы, фракталы

[Lorenz, 1963] Lorenz E.N. Deterministic nonperiodic flow // Journal of the Atmospheric Sciences. — 1963. — Vol. 20. — P. 130–141.

[Харитонов & Шелепин, 1998] Харитонов А.С., Шелепин Л.А. О динамике немарковских процессов // Краткие сообщения по физике ФИАН. — 1998. — № 1. — С. 45–50.

[Zwanzig, 1961] Zwanzig R. Memory in the master equation and the fluctuation-dissipation theorem // Journal of Chemical Physics. — 1961. — Vol. 33. — P. 1338–1341.

[Risken, 1989] Risken H. The Fokker-Planck Equation. — Berlin: Springer, 1989.

[Thom, 1972] Thom R. Stabilité structurelle et morphogénèse. — Reading, MA: W.A. Benjamin, 1972.

[Katsoulakis, Majda & Sopasakis, 2005] Katsoulakis M.A., Majda A.J., Sopasakis A. Multiscale couplings in prototype hybrid deterministic/stochastic systems // Communications in Mathematical Sciences. — 2005. — Vol. 3. — P. 453–478.

[Hänggi, Talkner & Borkovec, 1990] Hänggi P., Talkner P., Borkovec M. Reaction-rate theory: fifty years after Kramers // Reviews of Modern Physics. — 1990. — Vol. 62. — P. 251–341.

[Tononi, 2004] Tononi G. An information integration theory of consciousness // BMC Neuroscience. — 2004. — Vol. 5. — Article 42.

[Tononi, 2008] Tononi G. Consciousness as Integrated Information: A Provisional Manifesto // Biological Bulletin. — 2008. — Vol. 215. — P. 216–242.